

鋼製エレメントを用いた線路下 横断構造物の応力特性

Stress State of Structure under Railroad made with Steel Elements

末松史朗¹・清水 満¹・鈴木 尊¹・松尾伸之²・栗栖基彰³

Shiro Suematsu, Mitsuru Shimizu, Takashi Suzuki, Nobuyuki Matsuo and Motoaki Kurisu

¹正会員 東日本旅客鉄道(株) 建設工事事務 構造技術センター(〒151-8578 東京都渋谷区代々木2-2-2)

³正会員 ジェイアール東日本コンサルタンツ(株) 技術本部 技術第三部
(〒171-0021 東京都豊島区西池袋1-11-1)

²正会員 鉄建建設(株) エンジニアリング本部 土木技術部 設計第二グループ
(〒101-8366 東京都千代田区三崎町2-5-3)

It is important to construct the structure under the railroad safely for the stability operation of the train. Some the construction techniques of the structure under the railway track are proposed, and the JES method is the one. The JES method inserts the rectangular steel pipe with the fitting in the ground while matching it. And, it digs under the railroad after the structure is constructed. However, improving the JES method can be able to end by verifying the state of the stress of the structure of the crossing under the railroad by the JES industrial method in the execution worker. The verification of receiving the influence of the load change the train is passed that and the floor version is important. The movement when the train was passed on an actual construction site was measured with strain gages. The strain was smaller more enough than the design though the above floor version did complex movement as a result..

Key Words : struture under railroad, steel element with fittings, stress state, train load

1. はじめに

JES工法は、エレメント横断方向に力を伝達することが可能な継手によって、コの字形の鋼製エレメントを噛み合わせながらエレメントを地盤中に挿入して線路下横断構造物を構築する工法である。エレメントはコンクリートを充填して本体構造物として用いられる。エレメントの組み合わせによって、箱形ラーメン形状または円形状などの構造物を構築できる工法である。JES工法の概要を図-1に示す。

本工法で構築される構造物において、完成系でエレメントがどのような応力状況下におかれているのかを定量的、定性的に実測して示した例は少ない。本工法では施工途中、つまりエレメント内部が空洞の状態において列車荷重を受けることになる。この場合、列車荷重による鉛直地中応力により発生するエレメントの応力状態を把握することは、安全性の点から重要であるが、完成系の状態においても、エレメントの発生応力を把握することは重要である。また、エレメントの応力がどの程度の大きさ

であるか、設計計算による想定とどの程度合っているかを把握しておくことで、今後の改良に資することができると考えられる。

そこで今回、JES 工法で構築した実構造物において、鋼製エレメントにひずみゲージを設置し、ひずみ計測を実施することとした。計測は、列車荷重の影響が大きな

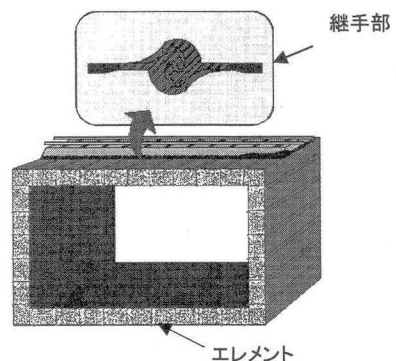
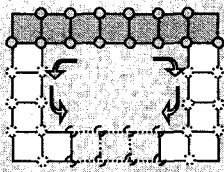
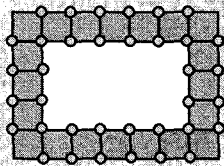


図-1 JES 工法の概要

2. 測定方法



1. 上床版からエレメントをかみ合わせながら順次挿入
2. 部材毎にエレメントの継手にグラウト注入、エレメントにコンクリート充填を実施



3. エレメント挿入～コンクリート充填を実施し、函体を構築
4. 函体内部を掘削する
5. 道路・水路等として仕上げ

図-2 JES 工法の施工順序概要

上床版エレメントについて構造系が完成した状態で、列車通過時の動ひずみ計測を中心に行った。なお、ひずみ計測に合わせて通過する列車の輪重および速度についても測定を行った。計測により得られたそれぞれの測定値と設計値との比較を行った。

今回、計測対象とした構造物は、内空 22.9m×6.0m の 1 層 2 径間のボックスカルバートであり、線路横断方向(函体方向)は、単線線路の下を横断し、延長 9m である。土被りは 0.5m であり、線路下横断構造としてはかなり土被りが小さい。線路は、R=500m の曲線であり、曲線の外側がエレメント挿入工の発進側となっている。

ひずみゲージおよび変位計の設置箇所を図-3 に示す。今回、計測を実施した構造物は中壁を有する 2 径間の構造であるため、一方の径間を対象とした。ひずみゲージの設置箇所であるが、線路方向には、上床版において、中壁から側壁にかけて等間隔になるようにして、ひとつおきにエレメントを選んで計測対象とした。なお、下床版は、列車荷重の影響を殆ど受けないと考えられるため、測定の対象としていない。

線路横断方向には、軌道中心および、軌道中心よりエレメント発進側に 1.0m(マクラギ端の直下)および 3.0m の位置とした。

エレメントの内部はコンクリート充填されているため、ひずみゲージの貼り付けはそれぞれの測定箇所において、図-5 に示すように、上床版の下側鋼板の下側もしくは側壁の内側鋼板の内空側の面に設置した。

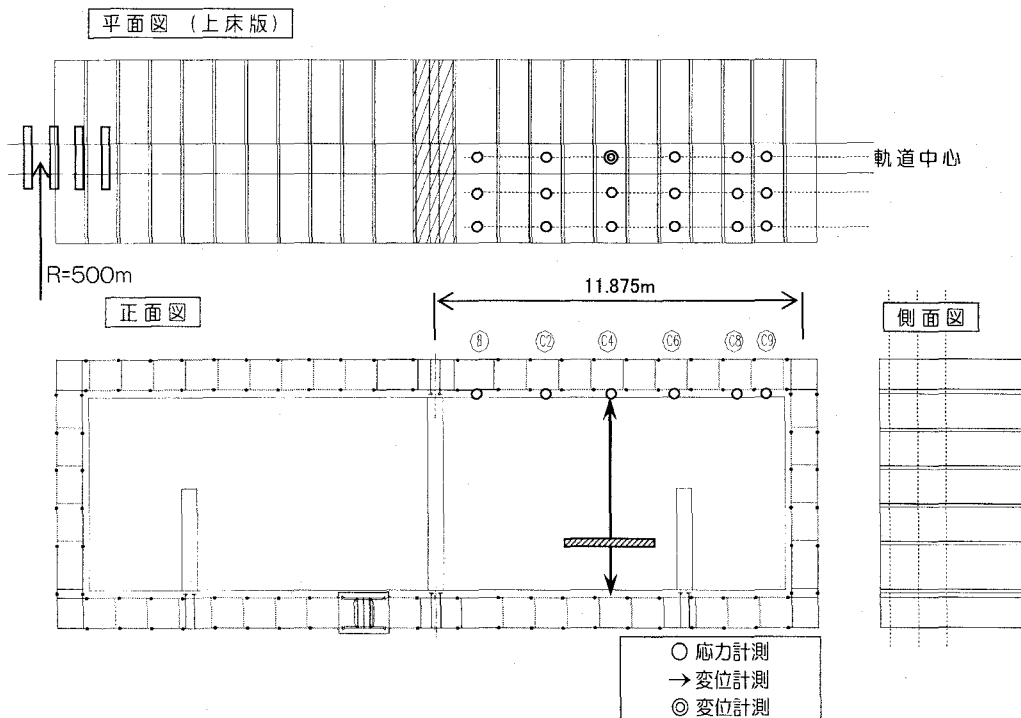


図-3 計測位置図

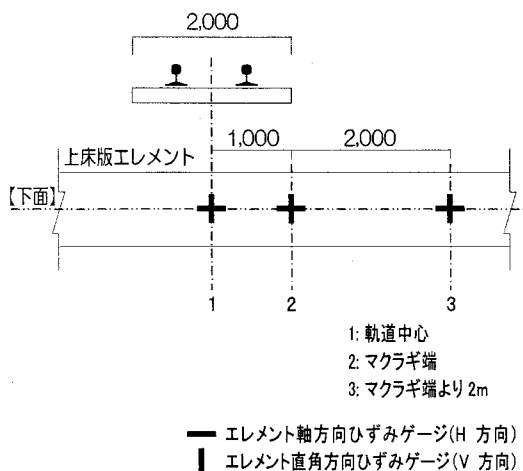


図-4 ひずみゲージ設置位置詳細図 2

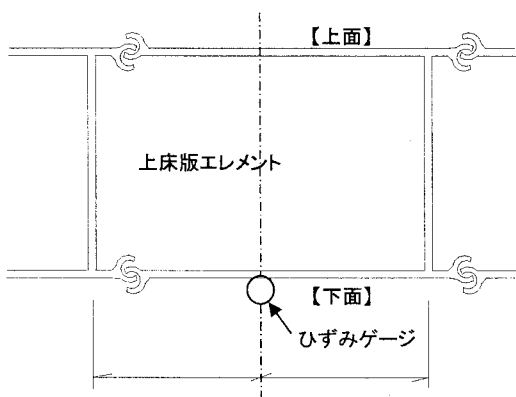


図-5 ひずみゲージ設置位置詳細図 1

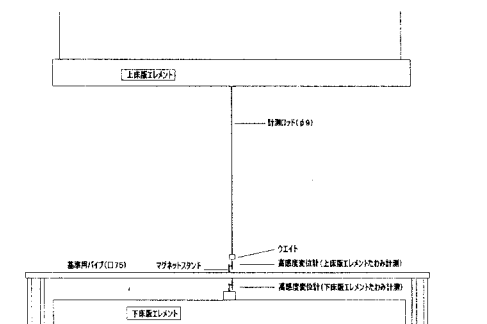


図-6 高感度変位計設置概略図

変位計の設置箇所は、ひずみゲージを設置した径間において、軌道直下の径間中央において、上床版と下床版それぞれの鉛直変位量を測定することとした。函体の前後にある発進および到達立坑内に設置した基礎の間に梁を渡して函体内の不動点とし、梁と上床版、下床

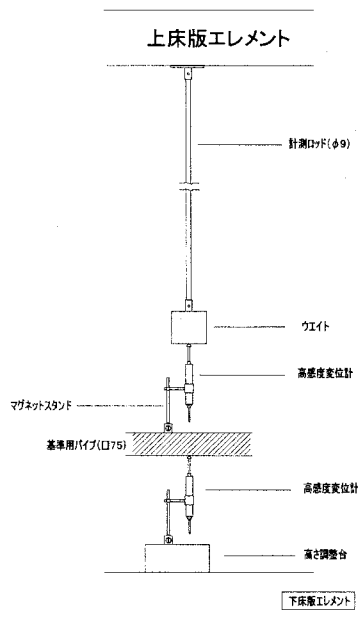


図-7 高感度変位計設置詳細図

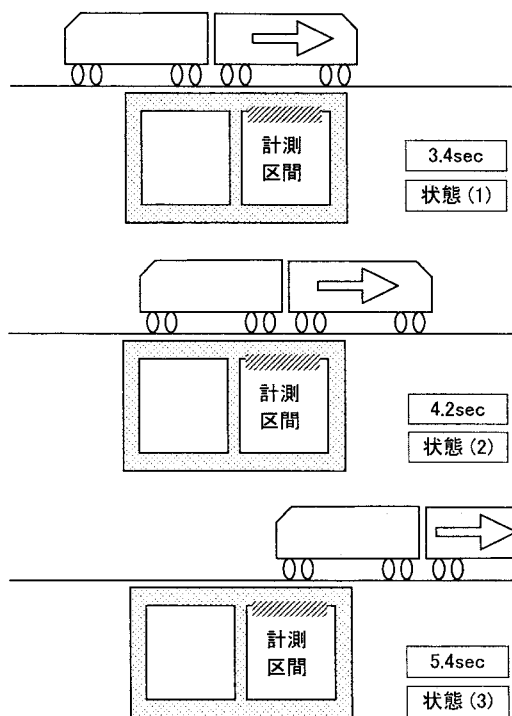
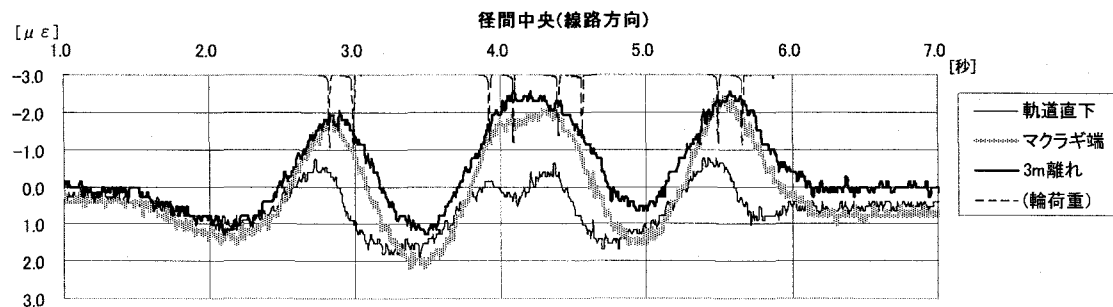
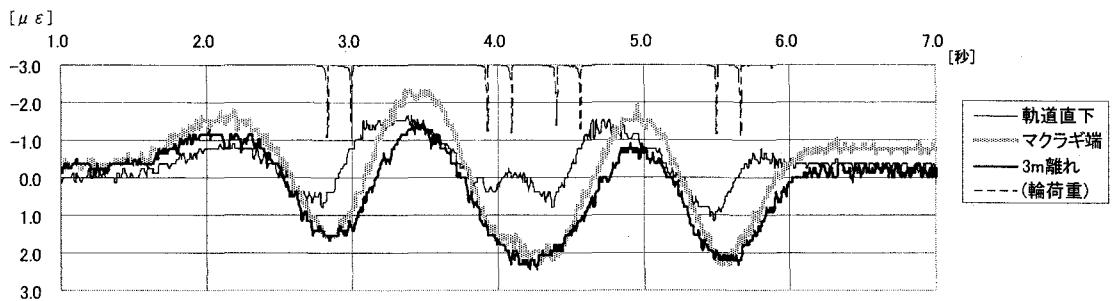


図-8 ひずみ測定と列車の位置

版の距離を測るようにピアノ線を介して変位計を設置した。計測実施時の列車荷重および列車速度についても、レールにせん断ひずみゲージを設置して測定した。

列車荷重は、基準荷重に対するレールのせん断ひず



径間中央(線路横断方向)
図-9 径間中央のひずみ経過

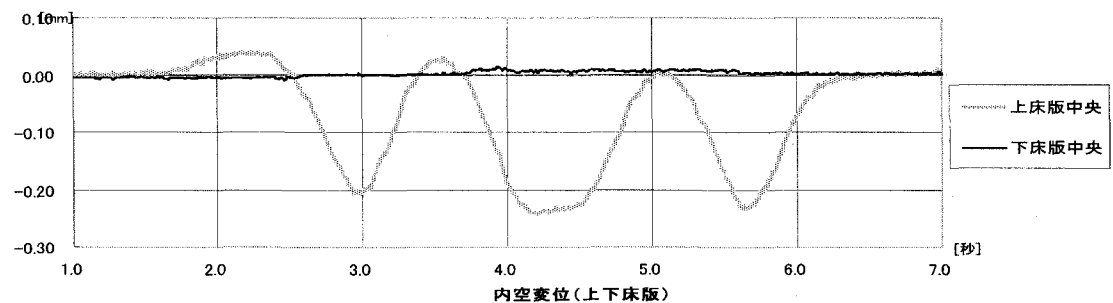


図-10 径間中央のたわみ変位の経過

3. 径間中央におけるひずみ発生時の経過

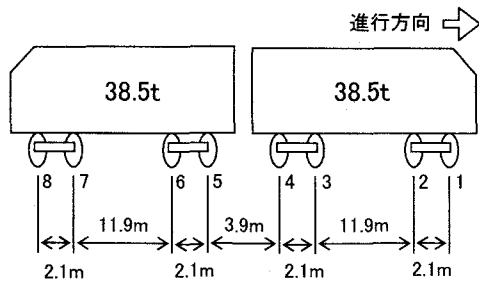


図-11 列車の軸重と軸配置

ひずみを測定しておき、列車通過時に記録されたせん断ひずみ量から比例関係で求めた。ゲージは径間中央であるC4エレメント直上の左右のレールに設置した。

列車速度は、レールのせん断ひずみ測定点を軌道方向に2箇所を一定間隔だけ離して設けておき、列車通過時に記録される波形の時間ずれとひずみ測定点の離れ量から、求めることとした。

径間中央における列車通過時のひずみ量の経過について図-9に示す。なお、列車通過のタイミングをわかりやすくするため、輪重測定の経過を合わせて表示している。輪重ゲージのグラフは見やすくするため左のスケールとは合わせていない。このグラフが尖った形状になっているときに、車輪がレールのひずみゲージを設置した地点を通過していることを示す。列車は2両連結の普通電車であり、図-8のように左側より進入し右側へ通過した。車両諸元を図-11に示す。

線路方向に対しては、ひずみ量は輪重とほぼ同じタイミングで引張ひずみが極大になっており、輪重にあわせてたわむように変形した。軌道直下では輪荷重の影響が強く、編成中央の連結面を挟んだ車輪(3軸～6軸目)の通過時には、軌道直下では3・4軸めと5・6軸め

に別れてグラフの山ができていのにに対し、マクラギ端および 3m 離れ位置の測線では、3・4 軸めと 5・6 軸めでひとつの山になっており、各軸の影響が足しあわされたグラフ形状となった。当該箇所では土被りが小さく、軌道直下では土被りによる荷重分散効果が現れにくかったためと考えられる。

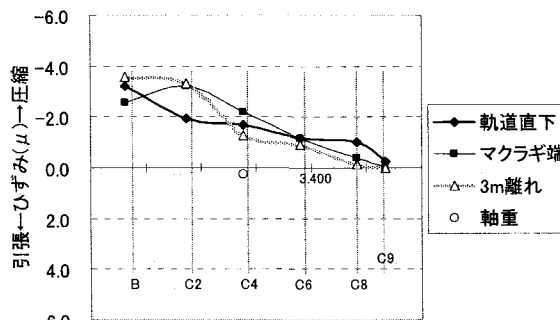
一方、線路横断方向(エレメント方向)のひずみ計測によると、線路方向とほぼ同じのタイミングで、逆位相の波形になっている。マクラギ端および 3m 離れの測線では、輪荷重の通過に従って、ひずみ量がほぼ均等に正負の値を往復するのにに対して、軌道直下においては、線路方向に対しては、輪荷重の狭間で圧縮力が働き、輪荷

重通過時には小さく引張力が働いている。線路横断方向に対しては、輪荷重の狭間のタイミングで引張力が作用し、輪荷重通過時には小さく圧縮力が作用している。

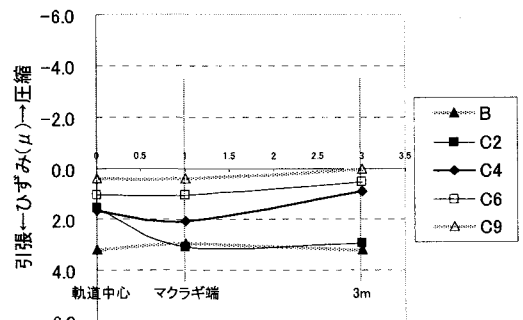
図-10 に示すたわみ量の経過は、3m 離れの測線におけるひずみ量の動きに近く、たわみ測定によって得られる動きは、局所的な動きの重ね合わせによって、動きが平均化されたものが測定されていると考えられる。

4. 列車位置に対するひずみの分布

列車通過中のある時刻におけるひずみ分布を図-12 に示す。列車の通過に従って、車両が径間をまたがって

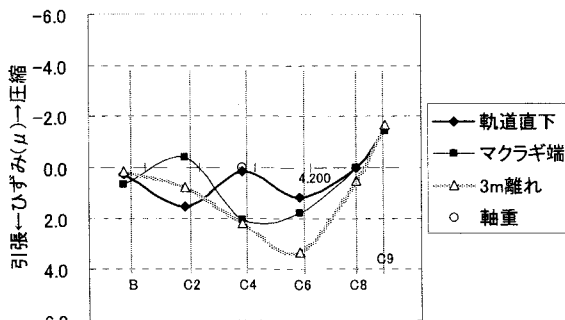


(a)線路方向ひずみ(3.4sec)

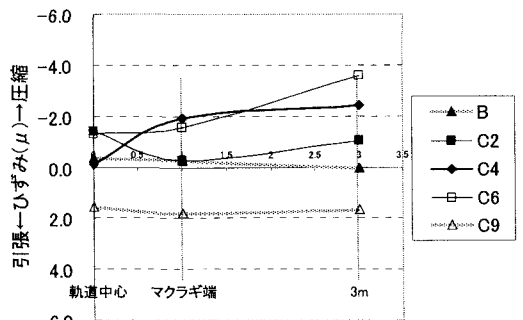


(b)横断方向ひずみ(3.4sec)

図-12(1) 台車通過の狭間の時刻におけるひずみ(3.4sec)

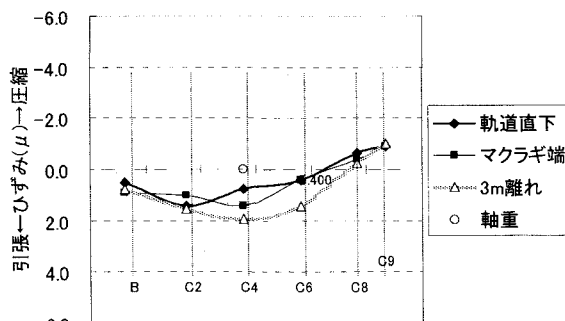


(a)線路方向ひずみ(4.2sec)

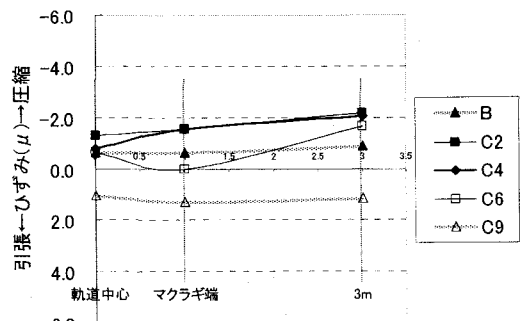


(b)横断方向ひずみ(4.2sec)

図-12(2) 編成の連結面が通過する時刻のひずみ(4.2sec)



(a)線路方向ひずみ(5.4sec)



(b)横断方向ひずみ(5.4sec)

図-12(3) 台車が径間中央にあるときのひずみ分布(5.4sec)

いる状態(1)、径間中央に連結部が乗った状態(2)、編成端部の2軸が径間中央に乗った状態(3)について示した(図-8)。時刻は列車通過時の計測開始後の経過時間であり、図-9,10と同じ時間軸である。

状態(1)では、線路方向に対しては、隣接する径間に荷重が掛かっているため、上に凸の変形となり、床版下側に圧縮ひずみが発生している。隣接径間の影響を受けた変形をしており、横断方向については、軌道からの離れに対する変化は殆どない。載荷点から離れていることによる重ね合わせ効果によって、一樣な変形になっていると考えられる。

状態(2)では、径間中央に荷重が掛かるように見えるが、軸間距離が2～4mであるため径間中央には荷重はなく、径間の1/4付近に2軸ずつ乗った状態に近い。軌道直下においては載荷点付近であるC2、C6測点付近で引張ひずみが発生し、径間中央のC4測点では殆どひずみが発生していない。一方で、3m離れの測点ではC4、C6を中心とした引張ひずみが発生し、載荷地点から離れることによって、荷重が重ね合わせしているものと考えられる。ひずみ分布が径間で対称になっていないのは、計測区間の一方がボックス構造の続き、もう一方が側壁であり、構造的に対称形になっていないためと考えられる。

また、横断方向に対しては、径間中央のC4で軌道直下ではひずみが殆どなく、マクラギ端でひずみが発生しており、C2、C6測点の荷重の影響を受けていると考えられる。

状態(3)において、線路方向ひずみは径間中央を中心としてほぼ一様に引張ひずみが発生し、側壁と剛結している端部では圧縮ひずみが発生している。軌道直下と比べてマクラギ端、3m離れの測線の方が、ひずみがはっきりと現れている。線路横断方向でも単調なひずみ分布であり、おおむね圧縮力が作用している。

以上のように、今回測定のような土被りの小さなケースにおいては、ひずみ分布は輪荷重の配置による影響を強く受けていると考えられ、測定位置によって様々な挙動を示している。従って、列車荷重を等分布荷重とみなした設計計算の結果と、単純な比較をすることは難しいと考えられる。また、ひずみ量が小さな値に留まっていることから、曲線の影響やマクラギ配置などの不均一要素の影響を受けやすかったことも考えられる。

5. 鋼材設計値との比較

上床版エレメントにおいて、列車通過時の引張鋼材に応力振幅は、疲労強度に対して小さくなければならない。今回計測した構造物の設計変動応力度 σ_{rd} 、設計疲労

強度 f_{rd} は表-1のようにになっている。

ここで、設計変動応力度を今回計測対象となった列車の重量および速度で換算し、また、鋼材のひずみに換算すると表-2のようになる。

表-1 上床版における設計疲労強度

部材	検討断面	(測点)	σ_{rd} (N/mm ²)	f_{rd} (N/mm ²)
上床版	側壁端部	C9	22.6	83.48
	中壁端部	B	53.0	53.12
	支間	C4	41.3	73.50
設計条件 EA17, V=110km/h				

表-2 荷重換算した変動応力度および変動ひずみ

部材	検討断面	(測点)	σ_{rd} (N/mm ²)	変動ひずみ (10 ⁻⁶)
上床版	側壁端部	C9	7.30	36.5
	中壁端部	B	17.12	85.6
	支間	C4	13.34	66.7
換算条件 M 9.625, V=45km/h 相当				

今回の計測において測定されたひずみ量は、最大で3～5 μ 程度であり、上記変動ひずみよりも十分に小さい値であった。

6. まとめ

完成段階の構造系となったJES構造において、列車通過時のひずみ測定およびたわみ変位測定を行った結果、発生ひずみ量は測定箇所や列車通過時の測定時刻によって、ひずみ発生経過は複雑なものであったが、設計値と比べて十分に小さな値であった。土被りが薄いためにレールやマクラギの合成により荷重の集中と分散の効果が強く現れ、列車通過にともなう載荷点の移動が変形形態の変化を引き起こしやすいと考えられる。

今回はほぼ完成系のJES構造物に対して計測を行ったが、今後は施工途中の状態に対して列車通過のみならず、施工の進捗による変化を継続的に計測し、工法の更なる改良と、安全性の確保に努めていきたい。

参考文献

- 清水満, 森山智明, 木戸素子, 桑原清, 守山泰明: 鋼製エレメントを用いた線路下横断トンネルの設計法, トンネル工学研究論文・報告集, vol.8, pp.407-412, 1998.
- 東日本旅客鉄道(株) 建設工事事務 設備部: JES工法設計マニュアル, 2004年12月.